

Docket No. 218957US8/pmh



45
7-2-2

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Kazunori MUKASA

GAU: 2874

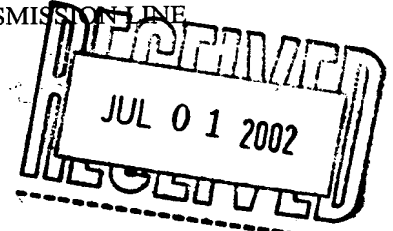
SERIAL NO: 10/086,413

EXAMINER:

FILED: March 04, 2002

FOR: OPTICAL FIBER AND WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX TRANSMISSION LINE

REQUEST FOR PRIORITY



ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY

APPLICATION NUMBER

MONTH/DAY/YEAR

JAPAN

2001-076969

March 16, 2001

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

RECEIVED
MAY 16 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Joseph A. Scafetta Jr.
Bradley D. Lytle
Registration No. 40,073

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26,803

RECEIVED
JUN -8 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

10/086,413



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月16日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-076969

[ST.10/C]:

[JP 2001-076969]

出 願 人

Applicant(s):

古河電気工業株式会社

RECEIVED
JUN 16 2001
TECHNOLOGY CENTER 2800

2002年 2月15日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造

RECEIVED
JUN -3 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

出証番号 出証特2002-3008068

【書類名】 特許願

【整理番号】 A00840

【提出日】 平成13年 3月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03C 13/04
G02B 6/00
H04B 10/00

【発明の名称】 光ファイバおよび波長分割多重伝送用線路

【請求項の数】 9

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 武笠 和則

【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100094053

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014890

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9006009

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバおよび波長分割多重伝送用線路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センタコアと、

該センタコアの外側に形成された第 1 サイドコアと
を有し、

前記センタコアの比屈折率差が $1.15 \sim 1.40(\%)$ であり、

センタコアの屈折率分布の形状を表す α 定数が $1.0 \sim 5.0$ であり、

前記第 1 サイドコア層の比屈折率差が $-0.60 \sim -0.35(\%)$ であり、

前記センタコアの径 (a) に対する前記第 1 サイドコア層の径 (b) の径比率
(b/a) が $1.6 \sim 2.4$ であり、

前記センタコアを伝播する光の波長が $1.55 \mu\text{m}$ 帯のとき、分散値が $-60 \sim -35$ ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$) で、分散スロープが $-0.40 \sim -0.10(\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km})$ であり、

前記センタコアを伝播する光の波長が $1.55 \mu\text{m}$ 帯のとき、伝送損失が $0 \sim 0.35$
(dB/km) であり、分散に対する損失の比率 (性能指数 (FOM)) が $120 \sim 500$ ($\text{ps}/\text{nm})/\text{dB}$) であり、偏光モード分散 (PMD) が $0 \sim 0.15(\text{ps}/\sqrt{\text{km}})$ であり、
実効コア断面積 (A_{eff}) が $19 \sim 50(\mu\text{m}^2)$ であり、

直径 20mm の曲げ損失が $0 \sim 5(\text{dB}/\text{m})$ である

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】

前記 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の波長は、 $1.40 \sim 1.65 \mu\text{m}$ の波長の帯域である、

請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】

前記光ファイバの分散に対する分散スロープ比率 (分散/分散スロープ, DPS) は 1.31 零分散シングルモード光ファイバの DPS と実質的に等しいか近似していることを特徴とする

請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】

前記センタコアを伝播する光の波長が $1.55\mu\text{m}$ のとき、実効コア断面積 (A_{eff}) が $23\sim 50(\mu\text{m}^2)$ であることを特徴とする

請求項 1 ～ 3 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 5】

前記センタコアを伝播する光の波長が $1.55\mu\text{m}$ のとき伝送損失が $0.27(\text{dB}/\text{km})$ 以下であり、FOMが $170(\text{ps}/\text{nm}/\text{dB})$ 以上である

ことを特徴とする請求項 1 ～ 4 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 6】

前記センタコアを伝播する光の波長が $1.58\mu\text{m}$ のとき、伝送損失が $0.30(\text{dB}/\text{km})$ 以下であり、

(前記センタコアを伝播する光の波長 $1.58\mu\text{m}$ における伝送損失) - (前記センタコアを伝播する光の波長 $1.55\mu\text{m}$ における伝送損失) の絶対値が $0.01(\text{dB}/\text{km})$ 以下である

ことを特徴とする請求項 1 ～ 5 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 7】

前記第 1 サイドコア層の外側に形成され、比屈折率差が $0.05\sim 0.35\%$ 、前記第 1 サイドコアの径 (b) に対する径 (c) の径比率 (c/b) が $1.3\sim 1.7$ の第 2 サイドコア層をさらに有することを特徴とする

請求項 1 ～ 6 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 8】

1.31 零分散シングルモード光ファイバまたは当該シングルモード光ファイバ (SMF) の特性と類似する特性を有する正分散光ファイバと、

請求項 1 ～ 7 いずれか記載の光ファイバと

を接続して、 $1.5\mu\text{m}$ 帯の特定波長の分散を低分散に抑えたことを特徴とする

波長分割多重伝送用線路。

【請求項 9】

前記シングルモード光ファイバ (SMF) の特性と類似する正分散光ファイバは、カットフ波長を長波長側にシフトさせた CSF、クラッド層をフッ素層とし

た純シリカコアファイバ、FFファイバ、実効コア断面積拡大シングルモード光ファイバを含む、

請求項 8 記載の波長分割多重伝送用線路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光ファイバに関するものであり、特定的には、シングルモード光ファイバ (SMF) と接続して伝送路を構成した場合に好適な特性を実現する線路用分散補償ファイバ (RDF: Relay Dispersion-compensation type optical Fiber) に関する。

より特定的には、本発明は、波長分割多重 (WDM: Wave Division Multiplexing) 伝送用の光ファイバ、および、その光ファイバとシングルモード光ファイバ (SMF) とを接続した場合に好適な波長分割多重 (WDM) 伝送路に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、波長分割多重 (WDM) 伝送に代表されるように、1 本の光ファイバ伝送路に異なる高周波の多数のパルス信号を長距離通信を行う広帯域通信の実現化の要求が強い。そのような広帯域通信においては、長距離通信に要求される伝送損失の低下に加えて、分散が小さいことなど、種々の要求が強く課せられている。

【0003】

そのような要求を満足させる 1 方法として、これまで広く使用されてきたシングルモード光ファイバ (SMF: Single Mode optical Fiber) と、分散補償光ファイバ (DCF: Dispersion Compensation optical Fiber) とを接続して全体として上述した要求を満足させるという構想が提案されている。

そのような分散補償光ファイバ (DCF) は、従来のモジュール型分散補償型光ファイバではなく、SMF と接続して線路として用いる線路用分散補償ファイバ (RDF) と呼ばれており、その実用化が鋭意検討されている。

【0004】

波長 $1.31\mu\text{m}$ において分散が $0(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$ である 1.31 零分散シングルモード光ファイバ(SMF)は、非線形性や伝送損失、偏光モード分散(PMD: Polarization Mode Dispersion)などの特性で大変優れた線路(光ファイバ)であるが、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で大きな正の分散値と正の分散勾配(または分散スロープとも言い、波長の変化に対する分散の変化の割合を示す)とを有するため、SMF単独で $1.55\mu\text{m}$ 帯の波長の光信号を長距離、分散なく伝送することが困難であるので、SMF単独では波長分割多重化(WDM)の実現は困難である。そこで、分散の補償が必要となる。

そこで 1.31 零分散SMFの特性の利点を活用を図りながら、モジュール型のSMFと接続したとき、分散を補償して $1.55\mu\text{m}$ 帯での伝送を可能にする分散補償ファイバ(DCF)の研究と実用化が鋭意行われている。

【0005】

そのような分散補償光ファイバ(DCF)としては、たとえば、 1.31 零分散シングルモード光ファイバ(SMF)の持つ正の分散を補償するため、SMFと接続したとき、センターコアの比屈折率差を 2.0% 以上と高くして負の大きな分散を稼ぐことで、SMFと接続したとき、全体として高い性能指数((FOM: Figure Of Merit)、分散に対する損失の比率(分散/伝送損失))、たとえば、 $200(\text{ps}/\text{nm}/\text{dB})$ 程度のFOMを達成する分散補償光ファイバ(DCF)が開発されている。

【0006】

また分散スロープも同時に補償するスロープ補償型分散補償ファイバが、波長分割多重(WDM)伝送用として注目されている。このようなスロープ補償型の分散補償光ファイバ(DCF)では、性能指数(FOM)だけでなく、分散スロープの制御が重要となる。

【0007】

1.31 零分散シングルモード光ファイバ(SMF)と上述した分散補償光ファイバ(DCF)とを接続したときの分散補償性能は、下記式に定義した補償率CRで表現すると判りやすい。

【0008】

【数1】

$$\text{補償率(\%)} = \left[\left(\text{Slope}_{\text{DCF}} / \text{Slope}_{\text{SMF}} \right) / \left(\text{Dispersion}_{\text{DCF}} / \text{Dispersion}_{\text{SMF}} \right) \right] \times 100$$

・・・ (1)

【0009】

式1において、記号 $\text{Slope}_{\text{DCF}}$ は分散補償光ファイバの分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)を示し、記号 $\text{Slope}_{\text{SMF}}$ はシングルモード光ファイバ (SMF)、たとえば、1.31零分散SMFの分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)を示し、記号 $\text{Dispersion}_{\text{DCF}}$ は分散補償光ファイバの分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)を示し、記号 $\text{Dispersion}_{\text{SMF}}$ は1.31零分散SMFの分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)を示す。

【0010】

式1の補償率CRが100%に近いほど、広帯域零分散が可能となる。言い換えると、分散補償光ファイバ (DCF) のDPSがシングルモード光ファイバのDPSに近いほど、広帯域にわたって補償が可能になることを意味している。

なお、DPSはDispersion Per Slopeの略称であり、分散に対する分散スロープの割合、すなわち、(分散/分散スロープ) (nm)を示す。

【0011】

特開平8-136758公報は、このモジュール型分散補償光ファイバ (DCF) の最適設計について提案している。

しかし、特開平8-136758公報に開示されている光ファイバのような光ファイバは、これまで、短尺化を目指してきたモジュール型分散補償光ファイバ (DCF) であり、その実効コア断面積 A_{eff} は、一般的に $18\mu\text{m}^2$ 以下と小さく、しかも比屈折率差が高い。そのため、非常に非線形現象が生じ易くなっている。さらに、そのようなモジュール型 (DCF) の伝送損失や偏光モード分散 (PMD) の値も大きい。

したがって、本発明の主題とする波長分割多重伝送を実現するためには、特開平8-136758公報に開示されたようなモジュール型DCFは、シングルモード光ファイバ (SMF)、たとえば1.31零分散SMFとの接続には適していない。

【0012】

最近では、新しいアプローチとして、文献、ECOC' 97 Vol.1 P127 に、シングルモード光ファイバ (SMF) と逆分散特性を有する線路型の分散補償ファイバ (RDF) を接続して分散を補償する方法が提案されている。

しかしながら、そのような線路型分散補償ファイバ (RDF) の分散値は $-15 \sim -30(\text{ps/nm/km})$ 程度にすぎず、SMFと接続する場合に、SMFとRDFとの長さの比率を約1:1にして線路を構成することを想定している。しかしながら、そのような分散値のRDFをSMFに接続しても本発明の主題とする性能を達成できない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

シングルモード光ファイバ (SMF) の正の分散値と補償しあう分散値を有する線路型の分散補償ファイバ (RDF) が注目されるが、そのような要望を満足させる、分散値、分散スロープ、非線形性、伝送損失、偏光モード分散 (PMD) も含めた最適特性および最適設計についてはこれまで好ましい報告がない。

【0014】

本願発明者の研究によれば、そのような線路型の分散補償ファイバ (RDF) では、線路の約半分をRDFが占めるため、比較的大きなパワーが長距離にわたってRDF中を伝播することになり、その結果として、非線形現象の問題が生じることが判った。

シングルモード光ファイバ (SMF) と線路型分散補償ファイバ (RDF) とを接続する場合、RDFの分散の絶対値が大きい方がより低非線形のSMFの長さ (条長) を長くでき、RDFに対するSMFの長さの割合 (条長比) を大きくできるから、SMFとRDFとを接続した場合のトータルの線路の非線形性を低減出来る点で有利な特性である。

【0015】

そこで従来の分散補償光ファイバ (DCF) の様な大きな分散値、たとえば $-60(\text{ps/nm/km})$ 以下の分散値を有する光ファイバを、シングルモード光ファイバ (SMF) と接続して線路を構成する試みも行ったが、上述したように、伝送損失

や偏光モード分散 (PMD) などの点で問題が残る。

【0016】

たとえば従来の分散補償光ファイバ (DCF) は、波長帯域 $1.55\mu\text{m}$ 帯での伝送損失が $0.4(\text{dB/km})$ 以上、偏光モード分散 (PMD) が $0.2(\text{ps}/\sqrt{\text{km}})$ 以上となっている。また累積分散による波形歪みが増大するという欠点も孕んでいる。

このような従来の分散補償光ファイバ (DCF) をシングルモード光ファイバ (SMF) と接続する光ファイバ (線路) として用いることは、現実的な面からみて難しい。

【0017】

上述した考察から、本発明の目的はシングルモード光ファイバ (SMF)、たとえば 1.31 零分散 SMF と接続して用いた場合、種々の特性を満足し、好適な性能を発揮しうる線路型分散補償ファイバ (RDF) を提供することにある。

本発明の他の目的はシングルモード光ファイバ (SMF)、たとえば 1.31 零分散 SMF とそのような好適な線路型分散補償ファイバ (RDF) とを接続して、波長分割多重化伝送、広帯域多重伝送などを実現しうる、光ファイバ伝送路を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明者は、光ファイバの伝送に用いる光の波長が $1.55\mu\text{m}$ 帯で $-60 \sim -35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$ の分散値と、 $-0.10(\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km})$ 以下の分散スロープを有する新しいタイプの線路型分散補償ファイバ (RDF) を提案する。

【0019】

本願発明者は、非線形性や損失の点で有利な分散値として $-60 \sim -35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$) を選択し、線路型分散補償ファイバ (RDF) の最適設計を求めた。

その結果、センタコアの比屈折率差が $1.2 \sim 1.4\%$ 、センタコアの屈折率分布の形状を表す α 定数が $1.0 \sim 5.0$ 、サイドコアの比屈折率差が $-0.60 \sim -0.35\%$ で、センタコアの径 a に対するサイドコアの径 b との比率 (径比率) が $1.6 \sim 2.4$ 倍の形状 (プロファイル) の光ファイバを用いることで、実効コア断面積 A_{eff} が $19\mu\text{m}^2$ 以上でありながら、伝送損失が $0.27(\text{dB/km})$ 以下の低損失、 $0.15(\text{ps}/\sqrt{\text{k}}$

m) 以下の低PMD（偏光モード分散）、曲げが20mmφで損失が5(dB/m)以下の低曲げ損失特性を有する線路型分散補償ファイバ（RDF）が実現できた。

【0020】

またセンターコアに外周に第2のサイドコア層を付加させた構造で、センターコア、第1サイドコア層および第2のサイドコア層の比屈折率差や、サイドコア層の径比率等を最適化する事によって実効コア断面積Aeffを $23\mu\text{m}^2$ 以上と拡大できることが分かった。

【0021】

実効コア断面積Aeffとは、LP₀₁モードの実効的な伝搬領域を意味し、光ファイバ中の電界分布をE(r)（rは光ファイバの半径方向の位置を示す）で表したとき、下記式2で定義される。

【0022】

【数2】

$$A_{\text{eff}} = \frac{2\pi \left[\int_0^\infty E(r)^2 r dr \right]^2}{\int_0^\infty E(r)^4 r dr} \dots (2)$$

【0023】

したがって、本発明の第1の観点によれば、センタコアと、該センタコアの外側に形成された第1サイドコアとを有し、前記センタコアの比屈折率差が1.15～1.40(%)であり、センタコアの屈折率分布の形状を表すα定数が1.0～5.0であり、前記第1サイドコア層の比屈折率差が-0.60～-0.35(%)であり、前記センタコアの径(a)に対する前記第1サイドコア層の径(b)の径比率(b/a)が1.6～2.4であり、前記センタコアを伝播する光の波長が1.55μm帯のとき、分散値が-60～-35(ps/nm/km)で、分散スロープが-0.40～-0.10(ps/nm²/km)であり、前記センタコアを伝播する光の波長が1.55μm帯のとき、伝送損失が0～0.35(dB/km)であり、分散に対する損失の比率（性能指数（FOM: Figure Of Merit

）、（分散／損失）が $120 \sim 500$ (ps/nm)/dB) であり、偏光モード分散 (PMD) が $0 \sim 0.15$ (ps/ $\sqrt{\text{km}}$) であり、実効コア断面積 (A_{eff}) が $19 \sim 50$ (μm^2) であり、直径 20mm の曲げ損失が $0 \sim 5$ (dB/m) であることを特徴とする光ファイバが提供される。

【 0 0 2 4 】

前記 $1.55\mu\text{m}$ 帯の波長は、 $1.40 \sim 1.65\mu\text{m}$ の波長の帯域である。

【 0 0 2 5 】

好ましくは、前記光ファイバの分散に対する分散スロープの比率（分散／分散スロープ，DPS）は 1.31 零分散シングルモード光ファイバのDPSと実質的に等しいか近似していることを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

また好ましくは、前記センタコアを伝播する光の波長が $1.55\mu\text{m}$ のとき、実効コア断面積 (A_{eff}) が $23 \sim 50$ (μm^2) であることを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

さらに好ましくは、前記センタコアを伝播する光の波長が $1.55\mu\text{m}$ のとき、伝送損失が 0.27 (dB/km) 以下であり、性能指数 (FOM) が 170 (ps/nm/dB) 以上である。

【 0 0 2 8 】

好ましくは、前記センタコアを伝播する光の波長が $1.58\mu\text{m}$ のとき、伝送損失が 0.30 (dB/km) 以下であり、（前記センタコアを伝播する光の波長 $1.58\mu\text{m}$ における伝送損失）－（前記センタコアを伝播する光の波長 $1.55\mu\text{m}$ における伝送損失）の絶対値が 0.01 (dB/km) 以下であることを特徴とする。

【 0 0 2 9 】

本発明の第2の観点によれば、前記第1サイドコア層の外側に形成され、比屈折率差が $0.05 \sim 0.35\%$ 、前記第1サイドコアの径 (b) に対する径 (c) の径比率 (c/b) が $1.3 \sim 1.7$ の第2サイドコア層をさらに有することを特徴とする。

【 0 0 3 0 】

本発明の第3の観点によれば、 1.31 零分散シングルモード光ファイバまたは当該シングルモード光ファイバ (SMF) の特性と類似する特性を有する正分散光

ファイバと、上述した第 1 および第 2 観点の光ファイバとを接続して、 $1.5\ \mu\text{m}$ 帯の特定波長の分散を低分散に抑えたことを特徴とする、波長分割多重伝送用線路が提供される。

【0031】

好ましくは、前記シングルモード光ファイバ (SMF) の特性と類似する正分散光ファイバは、カットフ波長を長波長側にシフトさせた CSF、クラッド層をフッ素層とした純シリカコアファイバ、FFファイバ、実効コア断面積拡大シングルモード光ファイバを含む。

【0032】

【発明の実施の形態】

本発明の光ファイバの実施の形態について添付図面、図 1 ～ 図 5 を参照して述べる。

【0033】

第 1 実施の形態

図 1 (A) は本発明の第 1 実施の形態の線路型分散補償ファイバ (RDF) の断面図であり、図 1 (B) は図 1 (A) に図解した RDF の屈折率分布を図解した図である。

本発明の第 1 実施の形態の線路型分散補償ファイバ (RDF) 1 は、波長分割多重伝送を行う場合など、シングルモード光ファイバ (SMF) と接続して伝送路を構成するための好適な光ファイバである。

【0034】

図 1 (A) に図解した線路型分散補償ファイバ (RDF) 1 は、センターコア 11 と、その外周に形成されたサイドコア層 (または、ディプレスト層) 12 と、サイドコア層 12 の外周に形成されたクラッド層 13 とを有する。

図 1 (B) に図解したように、センターコア 11 は比屈折率差 $\Delta 1$ 、サイドコア層 12 は比屈折率差 $\Delta 2$ であり、屈折率の分布は W 型をしている。

センターコア 11 の屈折率分布 (または比屈折率差分布) のプロファイルの形状を、パラメータ α で示す。

パラメータ α は下記式 3 で定義される。

【0035】

【数3】

$$n^2\left(\frac{r}{a}\right) = n_0^2 \left[1 - 2 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^a \right] \quad \dots (3)$$

$$0 \leq \frac{r}{a} \leq 1$$

【0036】

センターコア11の直径を2aとし、サイドコア層12の直径を2bとする。センターコア11の直径とサイドコア層12との直径の比率、b/aを径比率（または径倍率）と呼ぶ。

【0037】

図1(A)、(B)に図解したように、センターコア11の外周にサイドコア層12を有するW型をベースとした比屈折率差（または屈折率）プロファイルを持つ線路型分散補償ファイバ(RDF)は、高い分散補償性能を持ちながら、構造が単純であるため、比較的製造容易であるという利点を持つ。

本願発明者は、そのようなRDFを、シングルモード光ファイバ(SMF)、たとえば波長1.31μmの光を伝播したときに分散が0（零）である1.31分散SMFと接続して波長分割多重化(WDM)伝送などに使用する場合のRDFの最適条件を求めた。その最適条件を下記に述べる。

【0038】

光ファイバの諸元を下記表1に示す。

【0039】

【表 1】

表 1

| | 分散 | slope | Aeff | DPS | λ_c | 曲げ損失 |
|-----|----------|------------------------|-----------------|-----|-------------|------|
| | ps/nm/km | ps/nm ² /km | μm^2 | nm | nm | dB/m |
| SMF | 16.5 | 0.060 | 75 | 260 | 1250 | 1.0 |

【0 0 4 0】

基本条件

(1) 線路型分散補償ファイバ (RDF) の分散絶対値はなるべく大きなこと。その理由は、分散絶対値が大きいと、シングルモード光ファイバ (SMF) と接続したとき分散を充分補償できるからである。特に、大きな正分散のシングルモード光ファイバ (SMF) との接続が可能となる。さらに、上述したように、絶対分散値が大きいと種々の利点がある。

(2) 補償率の指標である分散に対する分散スロープ比率 (分散/分散スロープ、DPS) が良好であること。目標としては、DPSは、シングルモード光ファイバ (SMF) のDPSと同程度の200 ~400 (nm)が好ましい。そうすると、SMFとRDFとを接続した場合、補償率が100%に近くなり、好ましい補償率が得られるからである。

(3) 実効コア断面積Aeffは従来の分散補償光ファイバ (DCF) の実効コア断面積Aeffよりも大きいこと。たとえば、線路型分散補償ファイバ (RDF) の分散補償光ファイバ (DCF) は $19\mu\text{m}^2$ 以上あること。従来、モジュールで用いられてきたDCFのAeffは $19\mu\text{m}^2$ 以下だったが、それでは非線形性の面で好ましくない。

なお実効コア断面積Aeffの最大値は、接続対象のSMFの実効コア断面積Aeffと実質的に同じ値が好ましい。本実施の形態で、1.31零分散SMFの実効コア断面積Aeff (μm^2) は、 $50\sim 19\mu\text{m}^2$ である。実効コア断面積Aeffは大きいことが望ましいが、 $50\mu\text{m}^2$ より大きくしようとすると、曲げ損失が格段に大きくなる。したがって、実効コア断面積Aeffはこのような範囲の値が好ましい。

【 0 0 4 1 】

上記条件 (1) 、 (2) から、 $1.55 \mu m$ 帯での線路型分散補償ファイバ (R D F) の分散の値を $-35 (ps/nm/km)$ 以下、分散スロープの値を $-0.10 (ps/nm^2/km)$ 以下にした。

分散値の範囲は $-35 \sim -60 (ps/nm/km)$ である。

分散スロープの範囲は、 $-0.30 \sim -0.10 (ps/nm^2/km)$ である。

このような分散値および分散スロープ値の場合、S M F と接続したとき、式 1 に示した補償率が高く維持できる。

補償率は $100 \sim 85 \%$ 程度の範囲が好ましい。

【 0 0 4 2 】

一般的に W 型をベースにしたプロファイルにおいて、センターコア 1 1 の比屈折率差 $\Delta 1$ を大きくすると、分散絶対値を大きくすることが可能である。

そこで、本願発明者はセンターコア 1 1 の比屈折率差 $\Delta 1$ が 1.1% 程度と記載されている ECOC' 97 Vol.1 P127 に開示されている線路型分散補償ファイバ (R D F) よりも分散を拡大する為に、センターコア 1 1 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 1.15% 以上と決定した。なお、曲げ損失の影響を完全に取り除くために、好ましくは、比屈折率差 $\Delta 1$ は 1.20% 以上が好ましい。

設計の結果、こうすることで分散値が $-35 (ps/nm/km)$ 以下の線路型分散補償ファイバ (R D F) が得られることが確認できた。

またセンターコア 1 1 の比屈折率差 $\Delta 1$ が 1.15% 未満の場合、分散を $-35 (ps/nm/km)$ 以下にしようとする、曲げ損失か分散補償率が損なわれることが判った。

【 0 0 4 3 】

その意味では、センターコア 1 1 の比屈折率差 $\Delta 1$ をあげていけば、良好な (絶対値の大きな) 分散特性が得られるが、比屈折率差 $\Delta 1$ を上げると伝送損失と偏光モード分散 (P M D) が大きくなるというデメリットに遭遇する。比屈折率差 $\Delta 1$ を大きくすると補償率を大きくするのも難くなる傾向にある。

このような関係を分析した結果を図 2 に図解する。

【 0 0 4 4 】

図2は図1(B)に図解した光ファイバ1において、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ とシングルモード光ファイバ(SMF)に対する分散補償率および伝送損失を調査した結果を示すグラフである。この調査結果において、W型プロファイルの他のパラメータは固定している。

図2において、曲線 CV_{CR} は分散補償率の変化を示し、曲線 CV_L は伝送損失の変化を示す。

【0045】

図2に図解したグラフから明らかなように、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を上げると、分散補償率が低下し伝送損失が増加することが判った。したがって、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を無条件に大きくすることはできないことが判った。

【0046】

以上の観点から、適切な比屈折率差 $\Delta 1$ の範囲としては、伝送損失が緩やかに上がっていく領域でかつ高補償率がある程度維持されている領域として、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を1.15%以上で1.40%以下とした。この時の補償率は、図2から判るとおり、約100~97%と高い。

こうすることで、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ に大きく依存する偏光モード分散(PMD)の値も、例えば0.15(ps/ $\sqrt{\text{km}}$)以下の小さい値に抑えられることが期待できる。

【0047】

1例としてセンターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を1.30%に設定し、センターコア11の屈折率分布の形状を表す定数 α と、サイドコア層12の比屈折率差 $\Delta 2$ と、センターコア11の径 $2a$ と、サイドコア層12の径 $2b$ との比率、径比率、 b/a を変数として特性の変化を調べた。その結果を表2に示す。

【0048】

【表 2】

表 2
b/a を変化させたときのシミュレーション結果

| b/a | 分散 | Slope | DPS | Aeff | λ_c |
|------|----------|------------------------|-----|-----------------|-------------|
| | ps/nm/km | ps/nm ² /km | nm | μm^2 | nm |
| 1.70 | -44.1 | -0.071 | 623 | 22.4 | 788 |
| 1.75 | -43.0 | -0.091 | 470 | 21.5 | 793 |
| 1.80 | -41.8 | -0.109 | 385 | 20.8 | 797 |
| 1.85 | -40.6 | -0.119 | 340 | 20.3 | 802 |
| 1.90 | -37.3 | -0.115 | 325 | 19.7 | 807 |
| 1.95 | -34.2 | -0.098 | 348 | 19.0 | 813 |
| 2.00 | -30.5 | -0.077 | 397 | 18.6 | 820 |

$$\alpha = 2.0, \Delta 2 = -0.50\%$$

【0049】

表 2 は、例えば、 α を 2.0、サイドコア層 1 2 の比屈折率差 $\Delta 2$ を -0.50% にした時の、センターコア 1 1 の径 a に対するサイドコア層 1 2 の径 b の径比率（径倍率）である（ b/a ）に対する、分散、分散スロープ、DPS、実効コア断面積 Aeff、カットオフ波長 λ_c などの特性の変化の例を示す。

センターコア 1 1 の径は、曲げ損失が一定の値になるように調整した。

【0050】

表 2 の結果から明らかなように、径比率（ b/a ）が 1.70 近くになると分散スロープが -0.10 (ps/nm²/km) 以上となり、DPS が 400 (nm) 以上となるからシングルモード光ファイバの DPS と離れるので式 1 から判るように補償率 CR を高くすることが難しくなり、その実用化は厳しくなる。

径比率（ b/a ）が 2.00 に近づいていくと、分散値が -30 (ps/nm/km) 程度となり、分散値の絶対値が目標とする 35 (ps/nm/km) 以下になる。また、実効コア断面積 Aeff も $19 \mu\text{m}^2$ 以下と小さい。このように、径比率（ b/a ）が大きくなると、分散値および補償率など分散特性の面および実効コア断面積 Aeff の面で問題が生じることが分かる。

以上の考察から、このプロファイル範囲では、径比率 (b/a) は1.80~1.90のところが最適値であることが分かる。

【0051】

このような方法で種々のパラメータに関して最適化を行った。さらに、その最適化をセンターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を変えながら行ってみた。

その結果、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ が1.15~1.4 %、好ましくは $\Delta 1$ が1.2 ~1.4 %、 α が1.0 ~5.0、サイドコア層12の比屈折率差 $\Delta 2$ が-0.60 ~-0.35 %、径比率 (b/a) が1.6 ~2.4 の範囲の時に、分散が-60 ~-35 (ps/nm/km) で、DPSが200 ~400 (nm)の範囲で高補償率、実効コア断面積 A_{eff} が $19 \mu m^2$ 以上 (具体的には、19~50 μm^2 の範囲) で、低曲げ損失特性の線路型分散補償ファイバ (RDF) が達成できる事が判った。

さらに20mm ϕ の曲げ損失を3(dB km)と小さい値に設定して設計を行っているため、長波長側の伝送損失の増加の抑制も期待できる。

【0052】

α が1.0 以下の場合、他のパラメータを最適化しても曲げ損失が3(dB/ m)以上になり、 α を5.0以上にした場合には、DPSが400 (nm)以上となり補償率が低下した。

比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.60%以下にすると曲げ損失の増大が起こり、比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.35%以上にすると補償率の低下が起こった。

径比率 (径倍率) b/a は1.6 以下の時には分散絶対値が35(ps/nm/km)以上あり、実効コア断面積 A_{eff} も $22 \mu m^2$ 以上あるが、DPSが60 (nm) にもなってSMFのDPSとかけ離れて補償率が低下してしまう。他方、2.0 以上の時には、分散絶対値が35(ps/nm/km)以下で不足し、DPSが400 (nm)以下となり、実効コア断面積 A_{eff} も $19 \mu m^2$ 以下であり、必要条件を同時に満たすことが出来なくなる事が分かった。したがって、径比率 b/a の最適値は、約1.8 ~1.9 の範囲が好ましい。なお許容範囲としては径比率 b/a は上記最適値の25 %程度広い範囲の1.6 ~2.4 にすることができる。

【0053】

第2実施の形態

上記のように、第1実施の形態によればW型のプロファイルを最適化することで、従来の分散補償光ファイバ(DCF)よりも実効コア断面積 A_{eff} が $19\mu m^2$ 以上に拡大された線路型分散補償ファイバ(RDF)を達成することが出来た。しかしながら、径比率 b/a が1.70でも実効コア断面積 A_{eff} は大きいものでも $22\mu m^2$ 程度であり、より大きな実効コア断面積 A_{eff} が望まれる。

図3(A)、(B)を参照してより大きな実効コア断面積 A_{eff} を実現する第2実施の形態について述べる。

【0054】

図3(A)に図解した光ファイバ1Aは、図1(A)に図解した、サイドコア層12とクラッド13との間に第2のサイドコア層14を付加している。以下、サイドコア層12を第1サイドコア層12と呼ぶ。光ファイバ1Aのセンターコア11は図1(A)に図解したセンターコア11と実質的に同じである。

【0055】

図3(B)に屈折率分布のプロファイルを図解したように、この光ファイバ1Aの屈折率のプロファイルは、第2のサイドコア層14の付加により、(W+サイドコア)型プロファイルとなる。

この光ファイバ1Aについて実効コア断面積 A_{eff} の拡大の検討を行った。

【0056】

本願発明者は、センターコア11の径を $2a$ 、センターコア11の比屈折率差を $\Delta 1$ 、第1のサイドコア層12の径を $2b$ 、第1のサイドコア層12の比屈折率差を $\Delta 2$ 、第2のサイドコア層14の径を $2c$ 、第2のサイドコア層14の比屈折率差を $\Delta 3$ とした時に、これらのパラメータの組合せを最適化することにより、実効コア断面積 A_{eff} の拡大の検討を行った。

基本的には上記の様に最適化されたW型プロファイルの外側に第2サイドコア層を付加した場合の特性の変化を調べてみた。

【0057】

1例としてセンターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を1.25%、 α を2.0、第1のサイドコア層12の比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.50%、第1の径比率、 $a:b=0.5:1.0$ ($b/a=2.0$)とした場合の、第2のサイドコア層14の付加による特性の変

化をシミュレーションした結果を表3に示す。

【0058】

【表3】

表3

サイドコア層を変化させたときのシミュレーション結果

| $\Delta 3$ | c/b | 分散 | slope | DPS | Aeff | λ_c |
|------------|------|----------|------------------------|-----|-----------------|-------------|
| % | | ps/nm/km | ps/nm ² /km | nm | μm^2 | nm |
| 0 | 0 | -30.1 | -0.071 | 380 | 20.5 | 813 |
| 0.15 | 1.50 | -43.0 | -0.148 | 298 | 22.5 | 1256 |
| 0.20 | | -47.1 | -0.144 | 348 | 23.0 | 1391 |
| 0.25 | | -49.6 | -0.135 | 368 | 23.6 | 1516 |
| 0.30 | | -53.3 | -0.142 | 397 | 24.1 | 1629 |
| 0.15 | 1.40 | -40.6 | -0.142 | 286 | 22.0 | 1173 |
| 0.20 | | -44.3 | -0.131 | 339 | 22.8 | 1231 |
| 0.25 | | -47.4 | -0.132 | 360 | 23.2 | 1390 |
| 0.30 | | -51.6 | -0.133 | 388 | 23.8 | 1532 |
| 0.15 | 1.60 | -46.3 | -0.152 | 305 | 23.0 | 1426 |
| 0.20 | | -50.4 | -0.142 | 355 | 23.4 | 1548 |
| 0.25 | | -52.2 | -0.140 | 372 | 23.9 | 1610 |
| 0.30 | | -55.1 | -0.135 | 409 | 24.4 | 1669 |
| 0.15 | 1.30 | -37.4 | -0.138 | 271 | 21.6 | 1097 |
| 0.20 | | -39.9 | -0.123 | 324 | 22.7 | 1146 |
| 0.25 | | -45.1 | -0.127 | 355 | 23.1 | 1298 |
| 0.30 | | -49.6 | -0.130 | 382 | 23.4 | 1476 |
| 0.15 | 1.70 | -51.4 | -0.160 | 321 | 23.6 | 1515 |
| 0.20 | | -53.6 | -0.150 | 357 | 23.8 | 1639 |
| 0.25 | | -56.8 | -0.146 | 389 | 24.3 | 1702 |
| 0.30 | | -59.0 | -0.143 | 413 | 24.7 | 1776 |

【0059】

表3の結果から明らかなように、第2のサイドコア層14を付加することにより、分散絶対値、DPS（換言すれば、補償率）、実効コア断面積Aeffの点で良好な特性が得られる。

すなわち、表 3 に例示した分散値の絶対値は表 2 に例示した分散値の絶対値より大きく $35(\text{ps}/\text{nm}/\text{km})$ 以上あり、D P S も約 $300 \sim 400(\text{nm})$ の範囲にあり、実効コア断面積 A_{eff} も $20 \sim 24 \mu\text{m}^2$ の範囲にある。特に、第 2 実効コア断面積 A_{eff} の実効コア断面積 A_{eff} は表 2 に例示した第 1 実施の形態の実効コア断面積 A_{eff} より大きくなっている。

しかしながら、第 2 のサイドコア層 1 4 を広くしすぎたり（第 2 の径比率 c/b の値が大きくなると）、あるいは、第 2 のサイドコア層 1 4 の比屈折率差 $\Delta 3$ の大きさを大きくしすぎると、カットオフ波長 λ_c が大きくなり、シングルモード光ファイバと接続したときの補償率（式 1）も少しづつ悪くなっていく。

【0060】

このように各種の設計を行ってみたところ、今回のプロファイル範囲で、他の特性を維持したまま、実効コア断面積 A_{eff} が $23 \mu\text{m}^2$ 以上の解が得られる第 2 のサイドコア層 1 4 は、表 3 に例示した結果を参照して比屈折率差 $\Delta 3$ が $0.05 (c/b \text{ が大きいとき}) \sim 0.35\% (c/b \text{ が小さいとき})$ 、第 2 の径比率 c/b が $1.3 \sim 1.7$ であることが分かった。

【0061】

この線路型分散補償ファイバ（RDF）を用いたシステムの例を図 4（A）、（B）に示す。

図 4（A）は、単位伝送路として、1 本のシングルモード光ファイバ（SMF）と 1 本の線路型分散補償ファイバ（RDF）とを接続した基本構成を図解している。

図 4（B）は図 4（A）に図解した SMF と RDF との単位線路を複数連続していく場合の構成図である。記号 TX は光信号送信装置を示し、RX は光信号受信装置を示し、EDFA は増幅器を示す。

【0062】

シングルモード光ファイバ（SMF）と線路型分散補償ファイバ（RDF）との長さ l_1 、 l_2 を適切に調整することで、波長分割多重化（WDM）伝送用のフラットな分散特性が得られる。

より低非線形な（換言すれば、直線性が高い）SMF に最初に信号光が入射さ

れるため、非線形現象も抑制することが可能である。

【0063】

またシンドルモード光ファイバ (SMF) の例示として述べた1.31零分散 SMF に代えて、 $1.55\mu\text{m}$ で正の大きな分散を有している他のファイバを用いることができる。そのような光ファイバとしては、たとえば、(1) カットフ波長を長波長側にシフトさせた CSF (Cutoff Shifted optical-Fiber) や、クラッド層をフッ素 (F) 層とした純シリカコアファイバ、FFファイバ (Fully fluoride doped optical-fiber) を用いることができる。また特開平11-364609 号公報等に記載されている実効コア断面積拡大シングルモード光ファイバ (SMF) を用いることができる。

【0064】

シングルモード光ファイバ (SMF) 以外のそのような正分散ファイバの特性例を表4に示す。

【0065】

【表4】

| SMFの種類 | 損失 dB/km | SMFと類似の正分散ファイバ | | | | | |
|---------|-------------|----------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-----------|
| | | 分散 ps/nm/km | Slope ps/nm ² /km | Aeff μm^2 | λ_c nm | 20 ϕ 曲 dB/m | DPS nm |
| CSF | 0.19 | 18.5 | 0.060 | 80.0 | 1500 | 1.0 | 310 |
| FF | 0.18 | 20.0 | 0.060 | 77.0 | 1500 | 1.0 | 330 |
| Aeff 拡大 | 0.19 | 15.0 | 0.065 | 100.0 | 1500 | 5.0 | 230 |

【0066】

表4に示したように、シングルモード光ファイバ (SMF) に代わる光ファイバとしては、たとえば、分散が10~25(ps/nm/km)程度の正分散ファイバが適切である。その理由は、分散が10(ps/nm/km)より小さいとFWM (四光波混合) の問題も生じるし、DPSも小さい値になる。一方、分散が25(ps/nm/km)よりも大きいと正分散ファイバの条長比が短くなり、せっかくRDFの分散を大きくしても

意味がなくなる。

【0067】

以上のとおり、本願発明者は、線路として用いることができる新しいタイプの線路型分散補償ファイバ（RDF）を開発した。

この線路型分散補償ファイバ（RDF）の低非線形性（高い直線性）、低伝送損失、低PMDという特性は、波長分割多重（WDM）伝送路として最適な特性である。

またこの線路型分散補償ファイバ（RDF）は、将来の波長分割多重（WDM）伝送の本命になりうる光ファイバであり、それが達成できるプロファイルが完成したことにより、高速大容量伝送に適した光ファイバが容易に作製できることになった。

【0068】

【実施例】

以下、実施例により、本発明の有効性を確認する。シミュレーション結果を参考に光ファイバの試作を行った。その結果、表5～表8に示す。

表5～表8における各パラメータは、シミュレーションで求めた最適値の付近とし、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1$ を小さくすることで低損失化と低PMDを狙った。

【0069】

第1実施例

第1実施例は、図1（A）、（B）を参照して述べた第1実施の形態の線路型分散補償ファイバ（RDF）についての実施例である。

【0070】

第1実施例のシングルモード光ファイバ（SMF）と、分散補償光ファイバ（DCF）の寸法を下記に示す。

SMFのコア径は $10\mu\text{m}$ であり、クラッド径は $125\mu\text{m}$ である。

DCFのコア径（実効コア断面積 A_{eff} ）は表6、8に例示した値であり、クラッド径は $125\mu\text{m}$ である。

【0071】

表 5 は、図 1 (A)、(B) を参照して述べた光ファイバに関する補償率の高い W 型線路型分散補償ファイバ (RDF) の実施例の結果である。

シミュレーションの結果を元に、表 5 の 2 つのプロファイルを選択した。表 5 に示した結果より、低非線形 (高い直線性) で高補償率な線路型分散補償ファイバ (RDF) 特性が期待できる。

【0072】

【表 5】

表 5

シミュレーションで補償率が高い RDF のプロファイル

| $\Delta 1$ | α | $\Delta 2$ | b/a | コア径 | 分散 | DPS | Aeff | λ_c | 20 ϕ 曲 |
|------------|----------|------------|-----|---------------|----------|-----|-----------------|-------------|-------------|
| % | | % | | μm | ps/nm/km | nm | μm^2 | nm | dB/m |
| 1.25 | 2.0 | -0.55 | 1.8 | 8.1 | -39.2 | 335 | 21.4 | 816 | 3.0 |
| 1.35 | 2.5 | -0.59 | 1.7 | 7.7 | -46.4 | 315 | 20.2 | 811 | 1.0 |

【0073】

上記のプロファイルに近いプロファイルでいくつかの試作を行った。試作した W 型線路型分散補償ファイバ (RDF) の特性を表 6 に示す。

【0074】

【表 6】

表 6

試作結果

| No. | $\Delta 1$ | 損失 | 分散 | DPS | Aeff | λ_c | 20 ϕ 曲 | PMD | FOM |
|-----|------------|-------|----------|-----|-----------------|-------------|-------------|------------------------|----------|
| | % | dB/km | ps/nm/km | nm | μm^2 | nm | dB/m | ps/ $\sqrt{\text{km}}$ | ps/nm/dB |
| 01 | 1.25 | 0.255 | -37.3 | 324 | 21.2 | 829 | 3.5 | 0.06 | 146 |
| 02 | 1.25 | 0.256 | -39.3 | 304 | 20.9 | 832 | 4.0 | 0.07 | 154 |
| 03 | 1.35 | 0.267 | -45.4 | 310 | 20.2 | 821 | 1.6 | 0.09 | 170 |
| 04 | 1.35 | 0.274 | -53.2 | 315 | 20.0 | 829 | 2.0 | 0.11 | 194 |

【 0 0 7 5 】

表 6 の結果から、線路型分散補償ファイバ (R D F) は、分散値 $-35 \sim -55$ (ps/nm/km) 程度の大きな値を維持しながら、高い補償率 (適切な D P S) を得ている事により、シングルモード光ファイバ (S M F) と接続したときに、広い波長範囲にわたって低分散が得られることが期待できる。また損失も低いレベルに抑えられている。さらに、実効コア断面積 A_{eff} の値も $20.0 \mu m^2$ 以上と従来の分散補償光ファイバ (D C F) に比べて拡大されている。しかも比較的センターコア 1 1 の比屈折率差 $\Delta 1$ が小さいので、低非線形性が達成されていることが分かる。PMD、曲げ損失等の他の値も非常に良好なものであった。

【 0 0 7 6 】

伝送損失は、目標である 0.35 (dB/km) 以下の 0.27 (dB/km) 以下となった。さらに、曲げ損失も 4 (dB/m) 以下と小さいため、長波長側 (L-Band帯) の伝送損失も 0.35 (dB/km) 以下、波長 1580 nm($1.58 \mu m$)の伝送損失の代表値は 0.30 (dB/km) 以下が得られた。

【 0 0 7 7 】

性能指数 (F O M) 、すなわち分散に対する伝送損失の比率、分散/伝送損失は、 $146 \sim 194$ (ps/nm/dB) であった。従来の R D F の F O M は $100 \sim 120$ (ps/nm/dB) であったので、本実施例は F O M が改善されていることが判る。F O M は大きい程良い。特に本実施例の R D F は S M F と接続して使用する場合を想定しているが、F O M が大きければ低い伝送損失でも同じ分散値を得ることができる。F O M が 170 (ps/nm/dB) の本実施例では同じ伝送損失の時、 1.4 倍程度の良好な分散値が得られた。

【 0 0 7 8 】

図 5 は上記第 1 実施例の線路型分散補償ファイバ (R D F) の波長損失特性を示すグラフである。

図 5 から光信号の波長 1500 nm ~ 1600 nmにわたり、伝送損失が 0.30 (dB/km) 以下であることが分かる。

本発明の光ファイバは、 $1.55 \mu m$ 帯として $1400 \sim 1650$ nmの波長の光を伝播することを意図しており、このような広範囲の帯域でも、伝送損失が低いことが証明

できた。

【0079】

波長 $1.58\mu\text{m}$ における伝送損失と波長 $1.55\mu\text{m}$ における伝送損失との差を評価する根拠について述べる。 $1.55\mu\text{m}$ 帯はC-Bandの中心波長であり、 $1.58\mu\text{m}$ 帯はC-Bandの端（L-Bandの始まり）である。この両者の損失差が少ないと、C-Bandでのフラットが補償される、L-Bandを使用できる可能性が高いという利点があるからである。

【0080】

第2実施例

上記の結果により、第1実施例の線路型分散補償ファイバ（RDF）は、従来の分散補償光ファイバ（DCF）よりも大きな実効コア断面積 A_{eff} を達成出来たが、さらなる実効コア断面積 A_{eff} の拡大の検討として、図3（A）、（B）を参照して述べた、第2のサイドコア層14が付加されて（W+サイドコア型）プロファイルを持つ第2実施の形態の線路型分散補償ファイバ（RDF）について試作を行った。

プロファイルは、表7に示すシミュレーションで良好な結果が得られているものを用いた。表7は補償率の高い、第2実施の形態の（W+サイドコア型）線路型分散補償ファイバ（RDF）についてシミュレーションした結果のプロファイルを示す。

【0081】

【表7】

表7

シミュレーションで補償率が高いRDFのプロファイル

| $\Delta 1$ | α | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ | a:b:c | コア径 | 分散 | DPS | A_{eff} | λ_c | 20曲 |
|------------|----------|------------|------------|-----------|---------------|----------|-----|------------------|-------------|------|
| % | | % | % | | μm | ps/nm/km | nm | μm^2 | nm | dB/m |
| 1.20 | 2.0 | -0.50 | 0.20 | 1:1.9:2.9 | 14.2 | -44.2 | 312 | 24.6 | 1386 | 2.0 |
| 1.30 | 2.5 | -0.50 | 0.25 | 1:2.1:3.2 | 13.8 | -54.4 | 327 | 23.2 | 1357 | 1.0 |

【 0 0 8 2 】

上記のプロファイルに近いプロファイルでいくつかの試作を行った。試作した W 型線路型分散補償ファイバ (R D F) の特性を表 8 に示す。表 8 は第 2 実施の形態の線路型分散補償ファイバ (R D F) について試作したファイバ (W + サイドコア型) の特性表である。

【 0 0 8 3 】

【表 8】

表 8
試作結果

| No. | $\Delta 1$ | 損失 | 分散 | DPS | Aeff | λc | 20 ϕ 曲 | PMD | FOM |
|-----|------------|-------|----------|-----|-----------|-------------|-------------|-----------------|----------|
| | % | dB/km | ps/nm/km | nm | μm^2 | nm | dB/m | ps/ \sqrt{km} | ps/nm/dB |
| 01 | 1.20 | 0.250 | -43.1 | 314 | 25.2 | 1329 | 1.5 | 0.05 | 172 |
| 02 | 1.20 | 0.252 | -47.3 | 320 | 24.9 | 1432 | 2.2 | 0.05 | 188 |
| 03 | 1.30 | 0.263 | -53.9 | 315 | 23.2 | 1326 | 3.8 | 0.07 | 205 |
| 04 | 1.30 | 0.270 | -57.2 | 339 | 23.0 | 1395 | 4.2 | 0.09 | 212 |

【 0 0 8 4 】

表 8 によれば、実効コア断面積 Aeff の値が $23.0 \mu m^2$ 以上と W 型の構造に比べて大きな値が得られたことが分かる。F O M も 170 (ps/nm/dB) 以上である。

他の特性も全て非常に良好なものであった。上記より実施された結果も良好であることが確認された。

【 0 0 8 5 】

【発明の効果】

本発明の線路型分散補償ファイバ (R D F) を用いてシングルモード光ファイバ (S M F) と接続すると高速大容量伝送に適した低非線形な波長分割多重化 (WDM) 伝送路の構築が可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 (A)、(B) は、本発明の光ファイバの第 1 実施の形態として、W 型の

屈折率プロファイルを持つ線路型分散補償ファイバ（RDF）を図解した図であり、図 1（A）は本発明の第 1 実施の形態の RDF の断面図であり、図 1（B）は図 1（A）に図解した RDF の屈折率分布を図解した図である。

【図 2】

図 2 は図 1（B）に図解した光ファイバ 1 において、センターコアの比屈折率差とシングルモード光ファイバ（SMF）に対する分散補償率、および、伝送損失を調査した結果を示すグラフである。

【図 3】

図 3（A）、（B）は、本発明の光ファイバの第 2 実施の形態として、（W型＋サイドコア）の屈折率プロファイルを持つ線路型分散補償ファイバ（RDF）を図解した図であり、図 3（A）は本発明の第 2 実施の形態の RDF の断面図であり、図 3（B）は図 3（A）に図解した RDF の屈折率分布を図解した図である。

【図 4】

図 4（A）はシングルモード光ファイバ（SMF）と線路型分散補償ファイバ（RDF）とを 1 対 1 で接続した基本構成を図解しており、図 4（B）は図 4（A）に図解した SMF と RDF との単位線路を複数連続していく場合の構成図である。

【図 5】

本発明の実施の形態の線路型分散補償ファイバ（RDF）の波長損失特性を図解したグラフである。

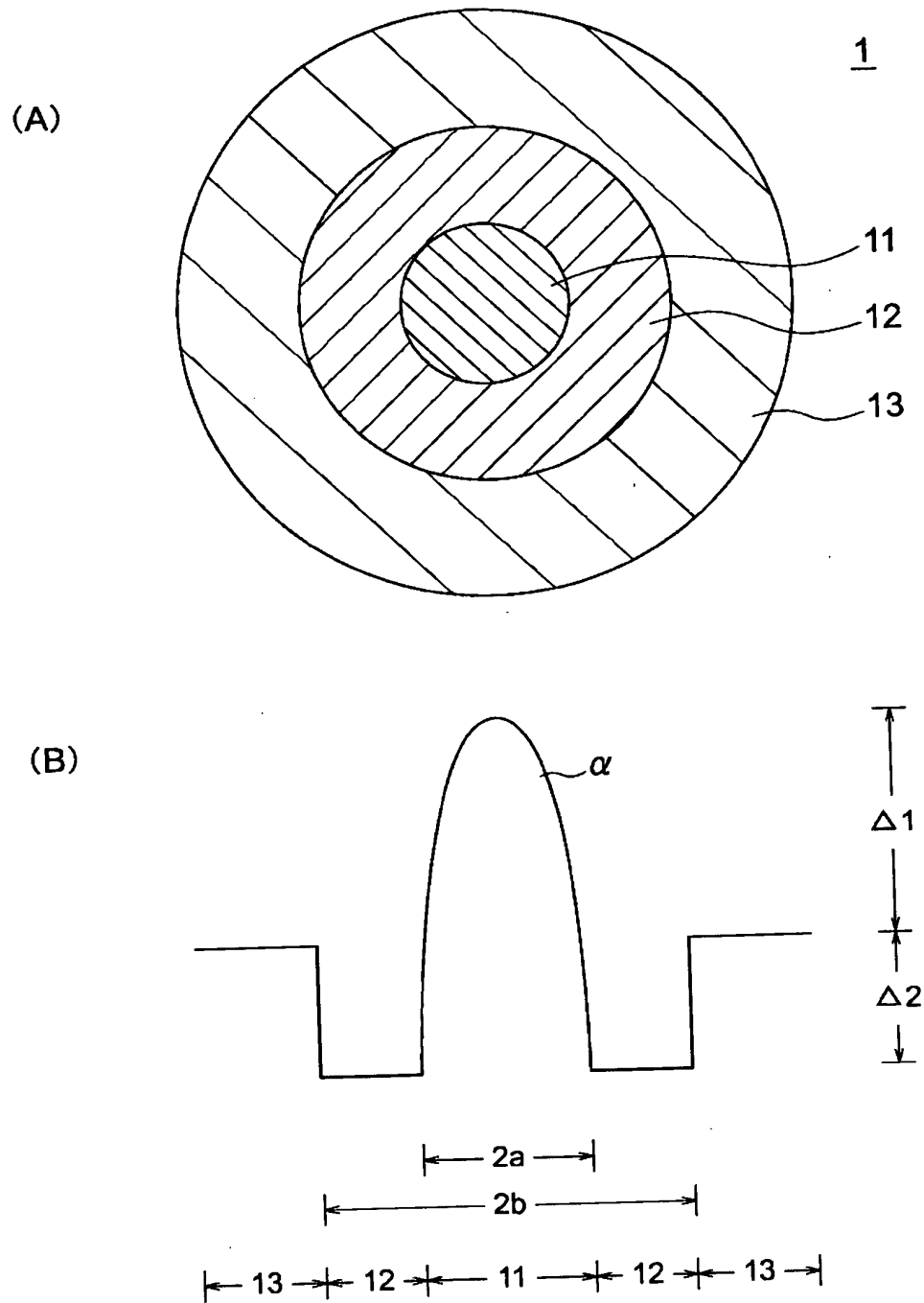
【符号の説明】

- 1 1・・・センターコア
- 1 2・・・サイドコア層（第 1 サイドコア層）
- 1 3・・・クラッド
- 1 4・・・第 2 のサイドコア層

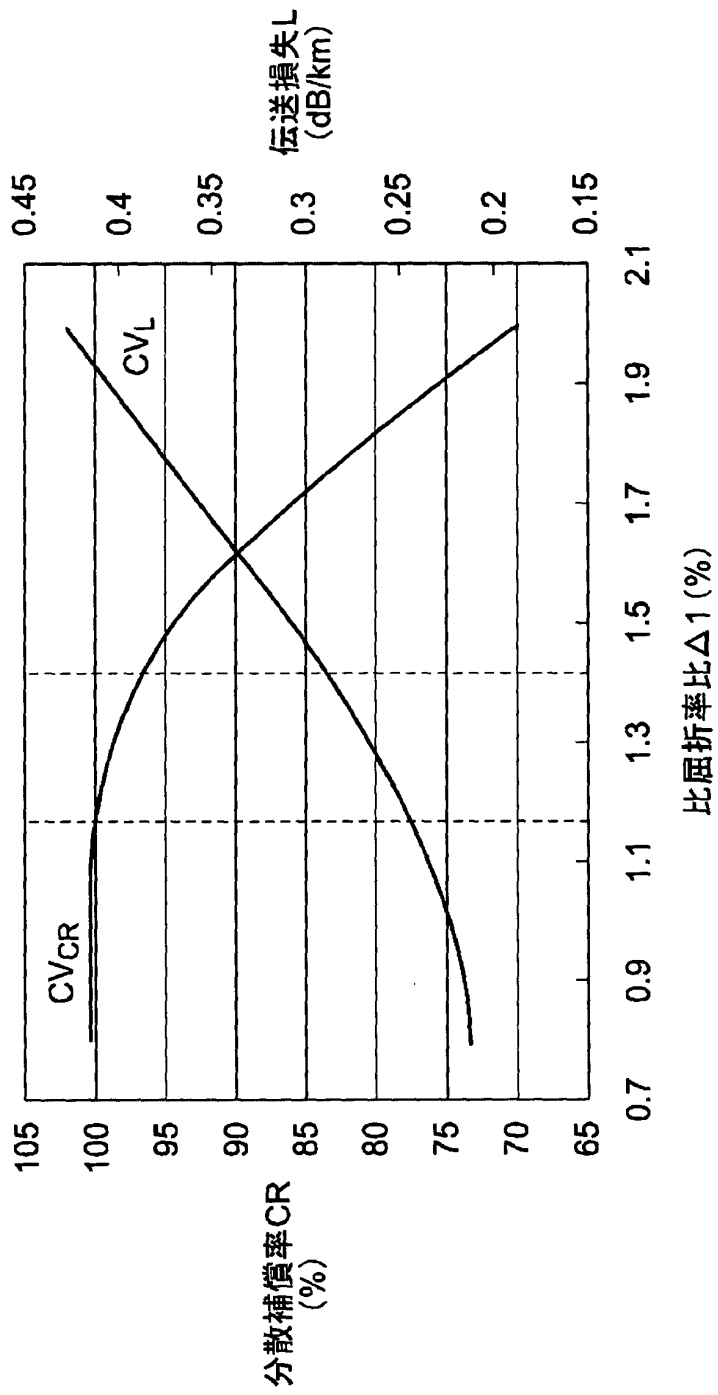
【書類名】

図面

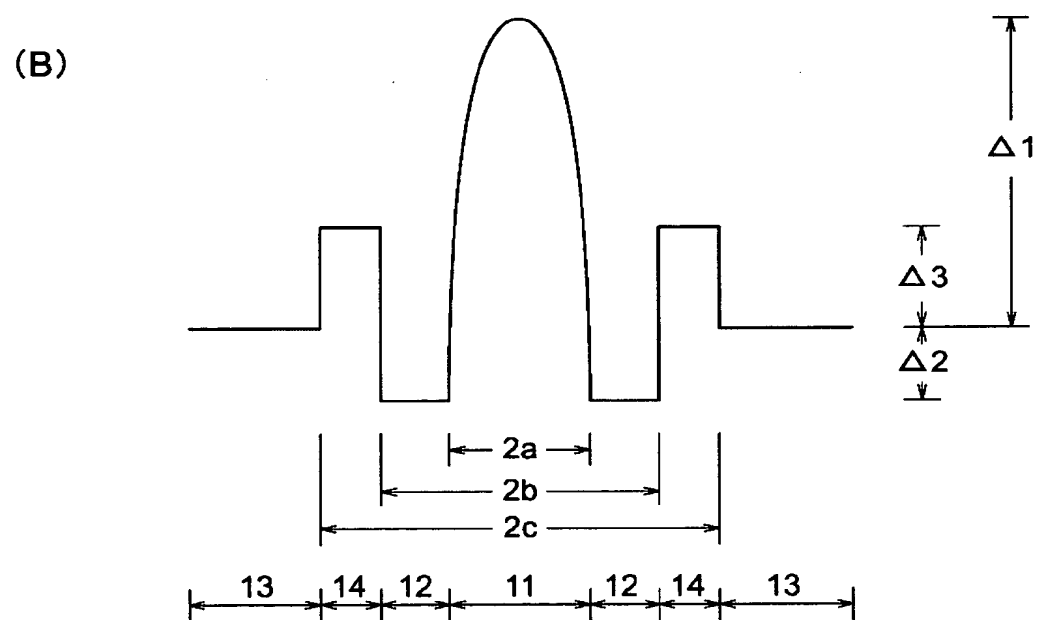
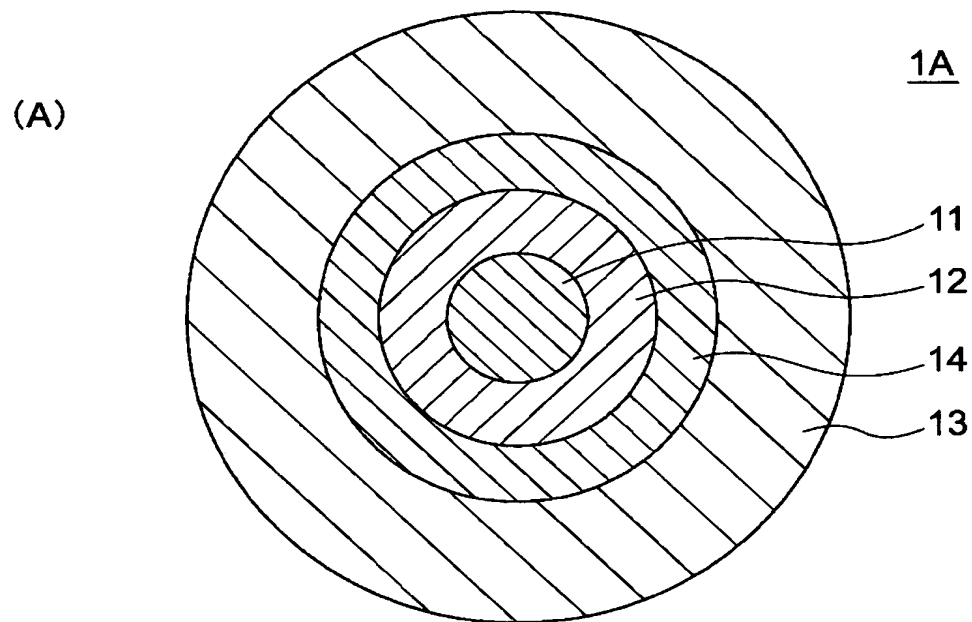
【図 1】



【図2】

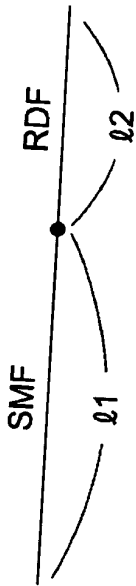


【図 3】

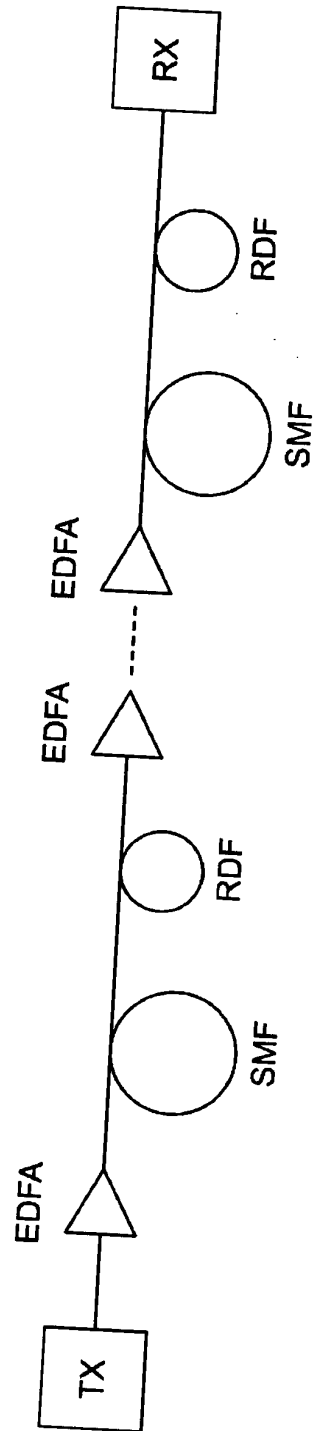


【図4】

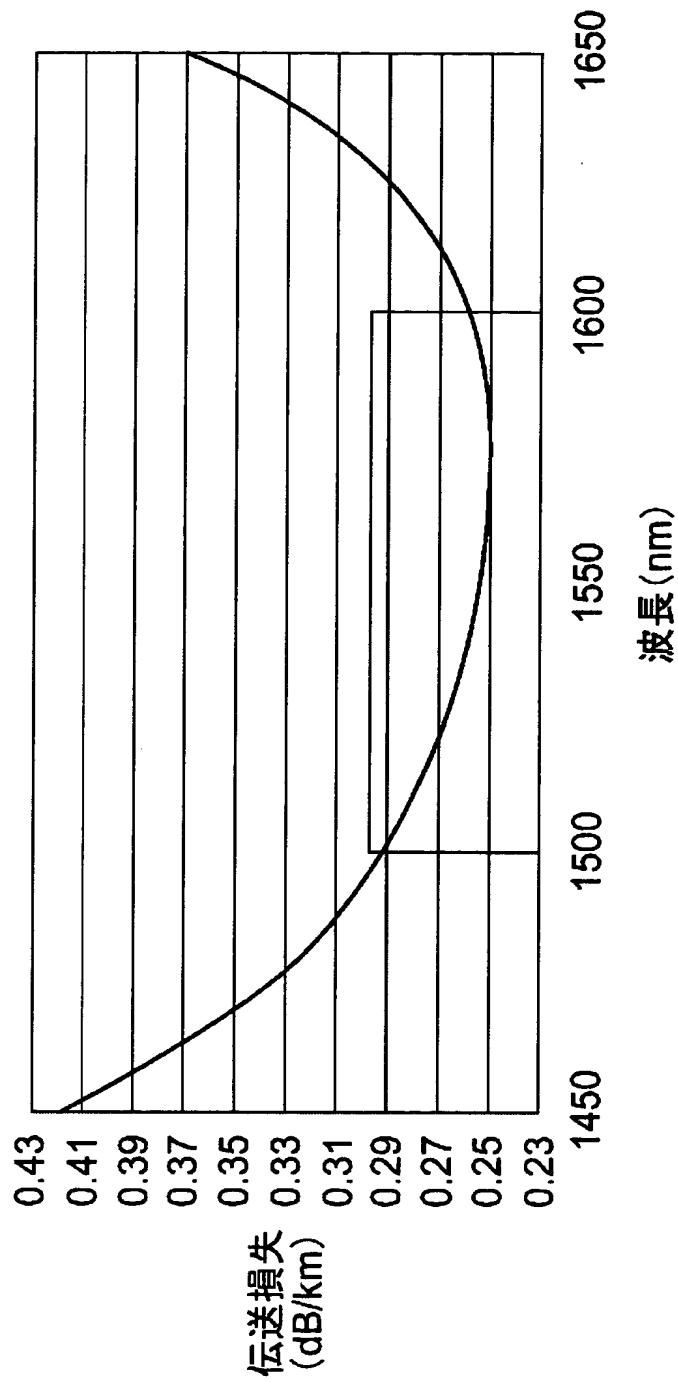
(A)



(B)



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長分割多重化伝送のため、シングルモード光ファイバと接続して好適な光ファイバを提供する。

【解決手段】 当該光ファイバは、線路型分散補償ファイバ（RDF）であり、センターコア11とサイドコア層12とクラッド13とを有する。RDFにおいて、センタコアの比屈折率差が1.15～1.40(%)であり、センタコアの屈折率分布の形状を表す α 定数が1.0～5.0であり、サイドコア層の比屈折率差が-0.60～-0.35(%)であり、センタコアの径（a）に対するサイドコア層の径（b）の径比率(b/a)が1.6～2.4である。センタコアを伝播する光の波長が1.55 μ m帯のとき、分散値が-60～-35(ps/nm/km)で、分散スロープが-0.10(ps/nm²/km)以下であり、光の波長が1.55 μ mのとき、伝送損失が0.35(dB/km)以下で、FOM（分散／損失）が120以上であり、偏光モード分散（PMD）が0.15(ps/ \sqrt km)以下であり、実効コア断面積（A_{eff}）が19 μ m²以上であり、直径20mmの曲げ損失が5(dB/m)以下である。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
氏 名 古河電気工業株式会社